

明 細 書

スターリング機関

技術分野

[0001] 本発明はスターリング機関に関する。

背景技術

[0002] スターリング機関は、フロンでなくヘリウム、水素、窒素などを作動ガスとして用いるので、オゾン層の破壊を招くことのない熱機関として注目を集めている。特許文献1-4にスターリング機関の例を見ることができる。

特許文献1:特開2000-337725号公報(第2-4頁、図1-4)

特許文献2:特開2001-231239号公報(第2-4頁、図1-4)

特許文献3:特開2002-213831号公報(第3-4頁、図1)

特許文献4:特開2002-349347号公報(第5-6頁、図1-4)

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0003] スターリング機関については、性能向上やコストダウンのための研究が盛んに進められている。

[0004] 本発明は上記事項に鑑みてなされたものであり、部品点数削減により構造を簡素化し、コストダウンを図ることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0005] 上記目的を達成するため、本発明ではスターリング機関を次のように構成する。すなわち、圧縮空間と膨張空間の間で作動ガスを移動させるディスプレイサと、動力源によってシリンダ内を往復運動せしめられるピストンとを備え、前記ピストンが往復運動することにより前記ディスプレイサも往復運動して前記作動ガスの移動が生じるようにしたスターリング機関において、前記ピストンの共振発生用スプリングを無くす。

[0006] この構成によると、ピストンに対してはスプリングを用いないので、部品点数が減る。部品点数削減により部品コストが下がる他、ピストンをスプリングに連結する際のピストンのセンタリング工程が不要となって組立コストも下がる。部品点数が減って構造が

簡素化された分、故障も少なくなる。

- [0007] また本発明は、上記構成のスターリング機関において、前記ピストンの外周面と前記シリンダの内周面との間にガスベアリングを形成するとともに、このガスベアリングはピストンの軸線方向に間隔を置いて2箇所以上に配置する。
- [0008] この構成によると、ガスベアリングがピストンの軸線方向に間隔を置いて2箇所以上に配置されているので、往復運動時にピストンがシリンダに対して傾くことがない。従ってピストンとシリンダとの接触が確実に回避され、ピストンとシリンダとの摩擦によるエネルギー損失、あるいは接触箇所の摩耗といった問題が発生しない。
- [0009] また本発明は、上記構成のスターリング機関において、前記ピストンが前記シリンダの中で軸線まわりに回転するのを防止する回転防止手段を設ける。
- [0010] この構成によると、ガスベアリングのガスは圧縮空間から供給され、バウンス空間へと流れる。バウンス空間と圧縮空間との圧力のバランスをとるため、シリンダの外側からピストンを通して圧縮空間へと抜ける戻り流路を形成しておく必要がある。ピストンがシリンダの中で軸線まわりに回転しなければ、戻り通路は確実にその機能を果たす。ガスベアリングを形成するピンホールが戻り流路に連通してしまい、ガスベアリングの機能が損なわれるという事態も避けることができる。
- [0011] また本発明は、上記構成のスターリング機関において、前記ピストンの往復運動範囲を定める移動限定手段を設ける。
- [0012] この構成によると、スプリングによる拘束のなくなったピストンがシリンダからとび出すのを防ぐことができる。
- [0013] また本発明は、上記構成のスターリング機関において、前記ピストンと移動限定手段との間に衝撃緩衝用の弾性体を配置する。
- [0014] この構成によると、ピストンが万一移動限定手段に衝突したとしてもその衝撃を緩和し、騒音の発生や機構の破損を防ぐことができる。前記弾性体として一般的な機械部品であるオーリングを使用すれば、弾性体の調達が容易であり、コストも安い。またオーリングは温度、油、化学物質などに対して耐性が高いので、圧力容器中で高圧の作動ガスにさらしても劣化の懸念が少ない。

[0015] また本発明は、上記構成のスターリング機関において、前記動力源としてリニアモータを用いる。

[0016] この構成によると、クランクとコネクティングロッドのような運動変換機構を用いることなくピストンを往復運動させることができ、高効率である。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の第1実施形態に係るスターリング機関の断面図である。

[図2]性能試験結果を示す表である。

[図3]本発明の第2実施形態に係るスターリング機関の部分断面図である。

[図4]本発明の第3実施形態に係るスターリング機関の部分断面図ある。

[図5]本発明の第4実施形態に係るスターリング機関の断面図である。

符号の説明

- [0018]
- 1 スターリング機関
 - 10、11 シリンダ
 - 12 ピストン
 - 13 ディスプレーサ(移動限定手段)
 - 14 マグネットホルダ
 - 20 リニアモータ
 - 31 スプリング(共振発生用)
 - 45 圧縮空間
 - 46 膨張空間
 - 50 圧力容器
 - 51 バウンス空間
 - 70 内フランジ(移動限定手段)
 - 71 ストップ板(移動限定手段)
 - 72 オーリング(弾性体)
 - 80 空洞
 - 81 連通口
 - 82 ピンホール(ガスベアリング形成用)

- 90 固定戻り流路
- 91 移動戻り流路
- 92 透孔(回転防止手段)
- 93 ピン(回転防止手段)

発明を実施するための最良の形態

- [0019] 以下、本発明の第1実施形態を図1、2に基づき説明する。図1はスターリング機関の断面図、図2は性能試験結果を示す表である。
- [0020] スターリング機関1の組立の中心となるのはシリンダ10、11である。シリンダ10、11の軸線は同一直線上に並ぶ。シリンダ10にはピストン12が挿入され、シリンダ11にはディスプレイサ13が挿入される。ピストン12及びディスプレイサ13は位相差を備えて動く。
- [0021] ピストン12の一方の端にはカップ状のマグネットホルダ14が固定される。ディスプレイサ13の一方の端からはディスプレイサ軸15が突出する。ディスプレイサ軸15はピストン12及びマグネットホルダ14を軸線方向に自由にスライドできるように貫通する。
- [0022] シリンダ10はピストン12の動作領域にあたる部分の外側にリニアモータ20を保持する。リニアモータ20は、コイル21を備えた外側ヨーク22と、シリンダ10の外周面に接するように設けられた内側ヨーク23と、外側ヨーク22と内側ヨーク23の間の環状空間に挿入されたリング状のマグネット24と、外側ヨーク22を囲む管体25と、外側ヨーク22、内側ヨーク23、及び管体25を所定の位置関係に保持する合成樹脂製エンドブラケット26、27とを備える。マグネット24はマグネットホルダ14に固定されている。
- [0023] ディスプレーサ軸15にはスプリング31の中心部が固定される。スプリング31の外周部はエンドブラケット27にスペーサ32を介して固定される。スプリング31は円板形の平板素材にスパイラル状の切り込みを入れたものであり、ディスプレイサ13をピストン12に対し所定位相差をもたせて共振させる役割を果たす。
- [0024] シリンダ11のうち、ディスプレイサ13の動作領域にあたる部分の外側には伝熱ヘッド40、41が配置される。伝熱ヘッド40はリング状、伝熱ヘッド41はキャップ状であって、いずれも銅や銅合金など熱伝導の良い金属からなる。伝熱ヘッド40、41は各々リング状の内部熱交換器42、43を介在させた形でシリンダ11の外側に支持される。

内部熱交換器42、43はそれぞれ通気性を有し、内部を通り抜ける作動ガスの熱を伝熱ヘッド40、41に伝える。伝熱ヘッド40にはシリンダ10及び圧力容器50が連結される。

- [0025] 伝熱ヘッド40、シリンダ10、11、ピストン12、ディスプレイサ13、ディスプレイサ軸15、及び内部熱交換器42で囲まれた環状の空間は圧縮空間45となる。伝熱ヘッド41、シリンダ11、ディスプレイサ13、及び内部熱交換器43で囲まれる空間は膨張空間46となる。
- [0026] 内部熱交換器42、43の間には再生器47が配置される。再生器47も通気性を有し、内部を作動ガスが通る。再生器47の外側を再生器チューブ48が包む。再生器チューブ48は伝熱ヘッド40、41の間に気密通路を構成する。
- [0027] リニアモータ20、シリンダ10、及びピストン12を筒状の圧力容器50が覆う。圧力容器50の内部はバウンス空間51となる。
- [0028] 圧力容器50には振動抑制装置60が取り付けられる。振動抑制装置60は、圧力容器50に固定されるフレーム61と、フレーム61に支持された板状のスプリング62と、スプリング62に支持されたマス(質量)63とから成る。
- [0029] 通常のスターリング機関と異なり、ピストン12の共振発生用スプリングを無くしている。しかし、そのままではシリンダ10からピストン12が抜けてしまう虞があるので、ピストン12の往復運動範囲を定める移動限定手段を設ける。本実施形態において、圧縮空間45の側で移動限定手段を構成するのはシリンダ10の端に設けた内フランジ70である。バウンス空間51の側で移動限定手段を構成するのはリニアモータ20のエンドブラケット27に固定されたストップ板71である。この往復移動範囲の中にあるかぎり、マグネット24はコイル21によって駆動される状態にある。すなわちリニアモータ20の磁気回路中にマグネット24が在中維持されている。
- [0030] 内フランジ70はピストン12の端面を受け、ストップ板71はマグネットホルダ14の端面を受ける。これらの部材が直接当たると騒音や振動を発するので、衝撃緩衝用の弾性体を配置する。本実施形態では弾性体としてオーリング72を使用する。内フランジ70とストップ板71は、それぞれ、接着材など適当な結合手段によりオーリング72を保持している。オーリング72の位置を逆にし、ピストン12及びマグネットホルダ14の

側にオーリング72を装着してもよい。

- [0031] ピストン12の内部は空洞80となっている。空洞80はピストン12の端面に設けられた連通口81を介して圧縮空間45に連通する。ピストン12の外周面には空洞80に通じるピンホール82が穿たれている。ピンホール82はガスベアリングを形成するものであり、同一円周上に所定の角度間隔で複数個配置されている。ピンホール82はピストン12の軸線方向に間隔を置いて2箇所以上に配置する。すなわちガスベアリングを2箇所以上に形成する。図示実施例ではガスベアリングを2箇所に設けることとしているが、その数に限定はない。
- [0032] ピンホール82とは別に、バウンス空間51内のガスを圧縮空間45に戻す戻り流路が設けられている。戻り流路は、リニアモータ20の内部ヨーク23とシリンダ10とを貫通するように設けた固定戻り流路90と、ピストン12の内部にL字形に屈曲する形で設けた移動戻り流路91とにより構成される。
- [0033] シリンダ10とピストン12を端面の方から見た場合、固定戻り流路90と移動戻り流路91は同一角度位置になければならない。すなわちシリンダ10とピストン12の相対角度は常に一定でなければならない。そこで、ピストン12がシリンダ10の中で軸線まわりに回転しないよう、回転防止手段を設ける。本実施形態では、マグネットホルダ14に透孔92を設け、この透孔92にストップ板71から突き出すピン93を通してピストン12の回転を止めている。ピンホール82が固定戻り流路90に合致してしまい、ガスベアリングの機能が損なわれるという事態もこれにより避けることができる。
- [0034] スターリング機関1は次のように動作する。リニアモータ20のコイル21に交流電流を供給すると外部ヨーク22と内部ヨーク23の間にマグネット24を貫通する磁界が発生し、マグネット24は軸線方向に往復運動する。マグネット24にマグネットホルダ14を介して連結されたピストン12も軸線方向に往復運動する。
- [0035] ピストン12が往復運動すると、ピストン12の左側の全空間に同一の圧力変動が生じる。ここでディスプレイサ13に作用する圧力を観察すると、膨張空間46側の端面に作用する圧力と圧縮空間45側の端面に作用する圧力とはパスカルの原理により同一となり、相殺される。しかしながらディスプレイサ軸15はピストン12の右側のバウンス空

間51に突出しているため、ディスプレイサ軸15にはその断面積に応じた背圧がかかる。

- [0036] 背圧は圧縮空間45の圧力変動と逆相で変動するため、ディスプレイサ13の両側の圧力は完全には相殺されず、差圧が発生する。つまり、ピストン12がディスプレイサ13の側に前進すると、ディスプレイサ13はピストン12に向かって後退し、圧縮空間45の容積が縮小するとともに膨張空間46の容積が拡大する。圧縮空間45の容積縮小分の作動ガスは再生器47を通過して膨張空間46に流れ込む。
- [0037] 逆にピストン12がディスプレイサ13から離れて後退すると、ディスプレイサ13はピストン12から離れて前進し、膨張空間46の容積が縮小するとともに圧縮空間45の容積が拡大する。膨張空間46の容積縮小分の作動ガスは再生器47を通過して圧縮空間45に戻る。
- [0038] 上記のようにしてフリーピストン構造のディスプレイサ13はピストン12の振動周波数と同期して振動する。この振動を効率的に維持するため、ディスプレイサ系(ディスプレイサ13、ディスプレイサ軸15、及びスプリング31)の総質量と、スプリング31のバネ定数とにより定まる共振周波数を、ピストン12の駆動周波数に共振するよう設定する。これにより、ピストン系とディスプレイサ系とは良好に一定の位相差をもって同期振動する。
- [0039] ピストン12とディスプレイサ13の同期振動により圧縮／膨張のサイクルが生まれる。振動の位相差を適切に設定すれば、圧縮空間45では断熱圧縮による発熱が多く発生し、膨張空間46では断熱膨張による冷却が多く発生する。このため、圧縮空間45の温度は上昇し、膨張空間46の温度は下降する。
- [0040] 運転中に圧縮空間45と膨張空間46の間を往復する作動ガスは、内部熱交換器42、43を通過する際に、その有する熱を内部熱交換器42、43を通じて伝熱ヘッド40、41に伝える。圧縮空間45から噴出する作動ガスは高温であり、伝熱ヘッド40は加熱される。すなわち伝熱ヘッド40はウォームヘッドとなる。膨張空間46から噴出する作動ガスは低温であり、伝熱ヘッド41は冷却される。すなわち伝熱ヘッド41はコールドヘッドとなる。伝熱ヘッド40より熱を放散し、伝熱ヘッド41で特定空間の温度を下げることにより、スターリング機関1は冷凍機関としての機能を果たす。

- [0041] 再生器47は、圧縮空間45と膨張空間46の熱を相手側の空間には伝えず、作動ガスだけを通す働きをする。圧縮空間45から内部熱交換器42を経て再生器47に入った高温の作動ガスは、再生器47を通過するときにその熱を再生器47に与え、温度が下がった状態で膨張空間46に流入する。膨張空間46から内部熱交換器43を経て再生器47に入った低温の作動ガスは、再生器47を通過するときに再生器47から熱を回収し、温度が上がった状態で圧縮空間45に流入する。すなわち再生器47は熱の保管庫としての役割を果たす。
- [0042] 圧縮空間45の中の高圧の作動ガスの一部は連通口81からピストン12の空洞80に入り込む。そしてピンホール82から噴出する。噴出する作動ガスにより、ピストン12の外周面とシリンダ10の内周面との間にガスの膜が形成され、ピストン12とシリンダ10との接触が防がれる。これと同様のガスベアリングをディスプレイサ13とシリンダ11の間にも設ける。
- [0043] ピストン12のガスベアリングは軸線方向に間隔を置いて2個以上設けられているので、往復運動時、ピストン12がシリンダ10に対して軸線方向に傾くことがない。従ってピストン12とシリンダ10との接触が確実に回避され、ピストン12とシリンダ10との摩擦によるエネルギー損失、あるいは接触箇所の摩耗といった問題が発生しない。
- [0044] ピストン12を連続して往復運動させていると、バウンス空間51内のガス圧が徐々に高くなり、圧縮空間45とバウンス空間51の間の圧力バランスが崩れてくる。固定戻り流路90及び移動戻り流路91はこの現象を防ぐために存在する。すなわち、ピストン12が往復運動していると、あるタイミングで戻り流路90、91が合致する。この時、バウンス空間51から固定戻り流路90及び移動戻り流路91を通じてガスが圧縮空間45に帰還し、圧力バランスを回復する。
- [0045] 前述の通り、ピストン12とシリンダ10との相対回転は透孔92とピン93からなる回転防止手段で止められている。従ってピストン12の往復運動中、固定戻り流路90と移動戻り流路91は所定のタイミングで必ず合致する。同時に、ピンホール82が固定戻り流路90に合致することが防がれるので、ガスベアリングの機能が損なわれることもない。

- [0046] ピストン12とディスプレイサ13が往復運動し、作動ガスが移動すると、スターリング機関1に振動が生じる。振動抑制装置60がこの振動を抑える。
- [0047] 上記構成のスターリング機関の性能について実験した結果を図2に示す。実験は、同一構成のスターリング機関を、「ピストンスプリングなし」の条件と「ピストンスプリングあり」の条件で運転し、前者の出力を後者の出力で除して出力指数を求めたものである。実験によれば、入力60Wのときの出力指数は0.983、入力80Wのときは同じく0.976、入力100Wのときは同じく0.970であった。すなわちピストンスプリングを廃止しても出力は殆ど変わらなかった。
- [0048] 図3に本発明の第2実施形態を示す。第2実施形態はピストンとシリンダの間の回り止めの構成に係るものであり、図3は関連の構成要素のみ示す部分断面図である。
- [0049] 第2実施形態では、シリンダ10の内面に軸線方向に延びる溝94を形成し、ピストン12には溝94に係合する突起95を形成して回り止めとした。
- [0050] 図4に本発明の第3実施形態を示す。第3実施形態もピストンとシリンダの間の回り止めの構成に係るものであり、図4は関連の構成要素のみ示す部分断面図である。
- [0051] 第3実施形態では、外部ヨーク22及びエンドブラケット26、27の内面の断面形状を多角形にした。図の場合八角形となっている。その八角形の内面側の角には軸線方向に延びる溝96を形成した。マグネットホルダ14の外面の断面形状も八角形とし、各角には溝96に係合する突起97を形成して回り止めとした。
- [0052] 図5に本発明の第4実施形態を示す。図5はスターリング機関の断面図である。第5実施形態のスターリング機関は、大部分の構成要素が第1実施形態と共通である。そこで、第1実施形態と共通の構成要素には第1実施形態で用いたのと同じ符号を付し、説明は省略する。
- [0053] 第4実施形態のスターリング機関1は、ピストン12の移動限界を定める移動限定手段の構成が第1実施形態と異なる。圧縮空間45において、ピストン12とディスプレイサ13は第1実施形態のときのようにシリンダ10に設けた内フランジで隔てられることなく対面している。すなわちここではディスプレイサ13が移動限定手段を構成する。ピストン12の端面に衝撃緩衝用のオーリング72が装着されている。このオーリング72は

ディスプレイサ13の側に配置してもよい。バウンス空間51においては、マグネットホルダ14の側にオーリング72が固定されている。

[0054] また本実施形態では、膨脹空間46において、ディスプレイサ13の端面に衝撃緩衝用のオーリング72を装着し、ディスプレイサ13が伝熱ヘッド41に衝突するようなことがあった場合の備えとしている。このオーリング72は伝熱ヘッド41の側に配置してもよい。

[0055] この実施形態の場合ピストン12は、ディスプレイサ13の側に前進しすぎると、ピストン12に向かって後退する途中だったディスプレイサ13にオーリング72を介して衝突する。この衝突はマグネット24がエンドブラケット26に当たる前に生じるので、リニアモータ20がダメージを受けることはない。

[0056] 以上本発明の各実施形態につき説明したが、発明の主旨を逸脱しない範囲でさらに種々の変更を加えて実施することが可能である。

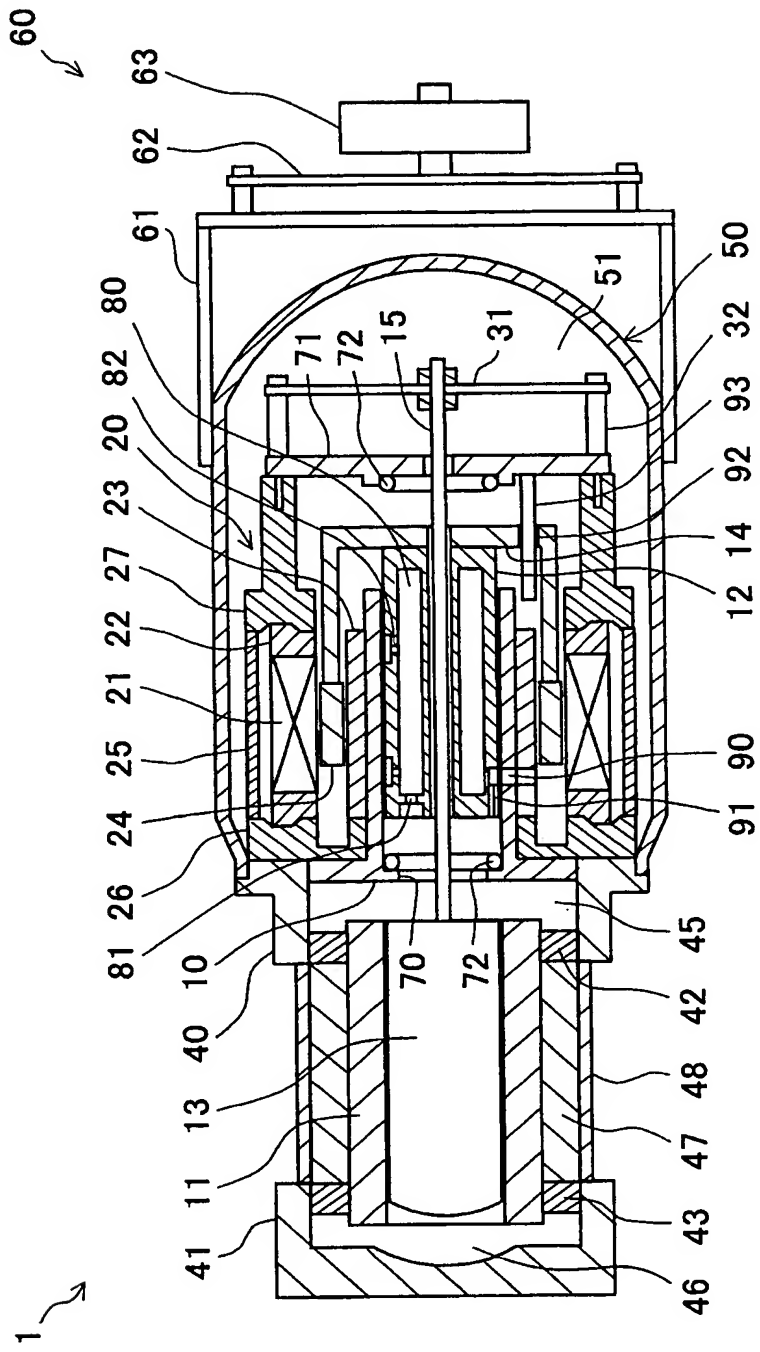
産業上の利用可能性

[0057] 本発明は、フリーピストン構造のスターリング機関全般に利用可能である。

請求の範囲

- [1] 圧縮空間と膨張空間の間で作動ガスを移動させるディスプレイサと、動力源によってシリンダ内を往復運動せしめられるピストンとを備え、前記ピストンが往復運動することにより前記ディスプレイサも往復運動して前記作動ガスの移動が生じるようにしたスターリング機関において、
前記ピストンの共振発生用スプリングを無くす。
- [2] 請求項1に記載のスターリング機関において、
前記ピストンの外周面と前記シリンダの内周面との間にガスベアリングを形成するとともに、このガスベアリングはピストンの軸線方向に間隔を置いて2箇所以上に配置する。
- [3] 請求項1に記載のスターリング機関において、
前記ピストンが前記シリンダの中で軸線まわりに回転するのを防止する回転防止手段を設ける。
- [4] 請求項1に記載のスターリング機関において、
前記ピストンの往復運動範囲を定める移動限定手段を設ける。
- [5] 請求項4に記載のスターリング機関において、
前記ピストンと移動限定手段との間に衝撃緩衝用の弾性体を配置する。
- [6] 請求項1-4のいずれか1項に記載のスターリング機関において、
前記動力源としてリニアモータを用いる。

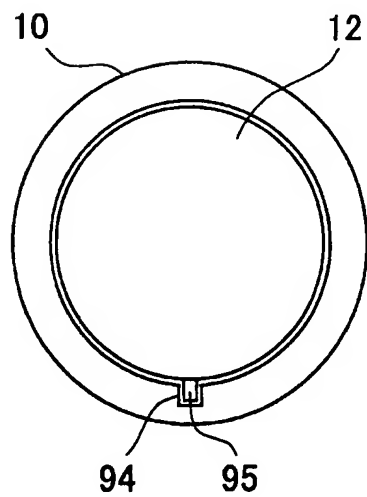
[図1]



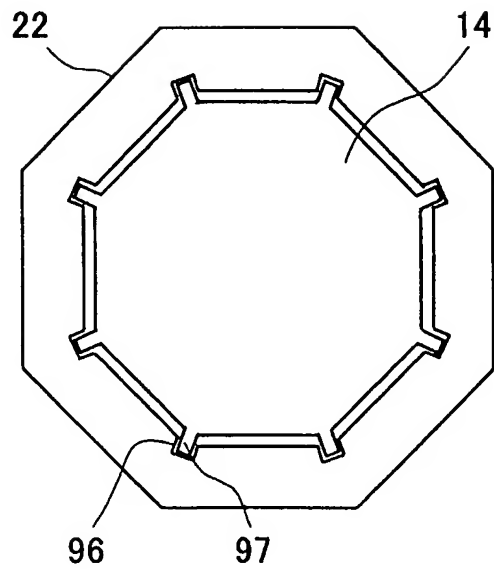
[図2]

| 出力指数 | |
|-------|-----------------------------|
| 入力(W) | (ピストンスプリングなし)／(ピストンスプリングあり) |
| 60 | 0.983 |
| 80 | 0.976 |
| 100 | 0.970 |

[図3]



[図4]



[図5]

